

УДК 52621. 373.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАТЕЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСА В ПРОГРАММЕ LTspice

*Петухов И. Б.*

*ОАО «Планар-СО»  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Проведено моделирование работы формирователя высоковольтного импульса для пробоя воздушного разрядного промежутка между электродом разрядника и концом золотой или медной проволоки при формировании шарика в технологии микросварки проволочных выводов.

**Ключевые слова:** высоковольтный импульс, формирование шарика, разрядник, проволочный монтаж, напряжение пробоя воздушного зазора.

## SIMULATION OF A HIGH-VOLTAGE PULSE FORMING IN THE LTspice SOFTWARE

*Petuhov I. B.*

*OJSC «Planar-SO»  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** High-voltage pulse forming for the breakdown of the air discharge gap between the spark gap electrode and the end of a gold or copper wire during the formation of a ball in the wire bonding technology of wire leads was simulated.

**Key words:** high voltage pulse, wire ball formation, spark electrode, wire bonding, air gap breakdown voltage.

*Адрес для переписки: Петухов И. Б., пр. Партизанский, 2/6, г. Минск, 220033, Республика Беларусь  
e-mail: petuchov@kbtm.by*

В технологии монтажа проволочных межсоединений методом «шарик-клин» используется проволока диаметром от 17,5 до 50 мкм из таких материалов, как золото, медь и серебро. Первая точка соединения выполняется предварительно сформированным шариком встык капилляром с вертикальной подачей проволоки, а вторая точка-клиновым соединением с образованием конца проволоки под рабочим торцем инструмента для последующего оплавления электрическим разрядом между электродом разрядника и проволокой.

В настоящее время существует технология формирования на контактных площадках подложки или кристалла объемных выводов на основе присоединения шарика и обрыва проволоки над ним, для возможности выполнения присоединения кристаллов по технологии flip-chip. Очевидно, что для данной технологии важно формировать шарики на конце проволоки стабильного диаметра. При формировании шарика используется метод подачи высоковольтного напряжения отрицательной полярности на разрядник [1], при этом разрядник конструктивно находится на расстоянии от конца проволоки 0,7–1,2 мм. Экспериментально установлено, что для инициализации пробоя воздушного промежутка длиной 1 мм при нормальных условиях составляет порядка 3 кВ, соответственно для зазора в 2 мм необходимое напряжение пробоя становится порядка 6 кВ. Существуют много топологий получения высоковольтных источников питания, однако для оплавления проволоки из золота, меди и серебра диаметром 17,5–50 мкм есть свои особенности. Во первых, инициализация пробоя воздушного про-

межутка должна осуществляться коротким импульсом длительностью 1,2–1,5 мс и током не более 3–5 мА, дальнейшее оплавление проволоки осуществляется разрядом при пониженном напряжении 700–800 В со стабилизацией тока разряда и заданной длительности в диапазоне 1,5–7 мс с током разряда в диапазоне 5–50 мА в зависимости от диаметра проволоки. Например, для золотой проволоки диаметром 30 мкм стандартный ток разряда составляет 25–27 мА длительностью 1,8–2,1 мс. В данной работе проведено моделирование формирования высоковольтного пробойного импульса на симуляторе LTspice свободно распространяемой компанией Analog Devices [2]. Поскольку преобразователи низкого напряжения в высокое обычно содержат трансформатор, логично предварительно промоделировать формирование выходного напряжения и поведение управляющей схемы. В различных публикациях, например [3] утверждается, что в LTspice хорошо моделируются схемы импульсных преобразователей. Для моделирования выбрана двухтактная схема преобразователя на ферритовом сердечнике RM14, показанная на рисунке 1. Источник питания преобразователя (может быть регулируемый для установки амплитуды пробойного напряжения) с максимальным напряжением 40 В. Управляющие импульсы с микросхемы DD1 TL494 поступают в затворы полевых транзисторов на частоте 50 кГц, которые попеременно переключают первичные обмотки. В LTspice коэффициент трансформации определяется как корень квадратный отношения индуктивности вторичной обмотки к первичной. Таким

образом, при индуктивности вторичной обмотки 5Н и первичной 600 uН коэффициент трансформации составляет ~90. Включая на выходе трансформатора утроитель напряжения можно получить амплитуду выходного импульса до 6 кВ.

После запуска симулятора и указывая маркерами точки контроля напряжения можно исследовать форму напряжения в указанных точках схемы. На рисунке 2 показана форма выходного напряжения преобразователя на рисунке 1.

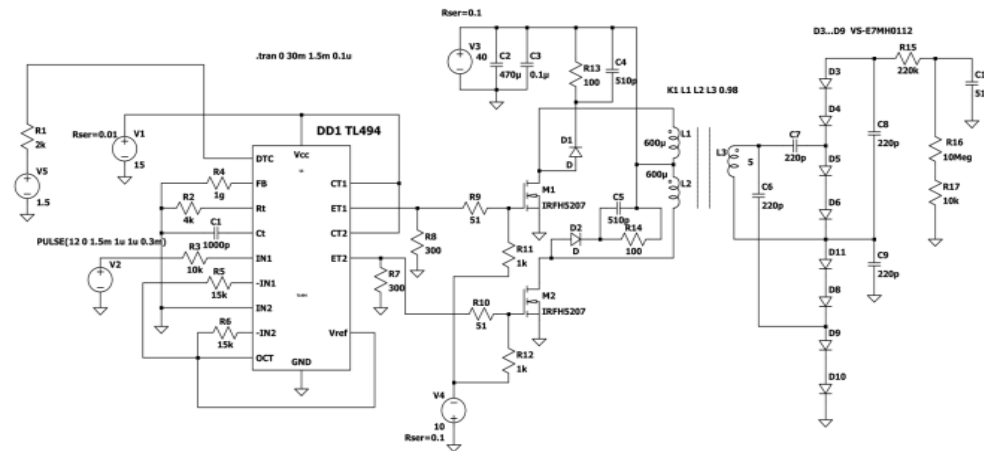


Рисунок 1 – Двухтактный преобразователь

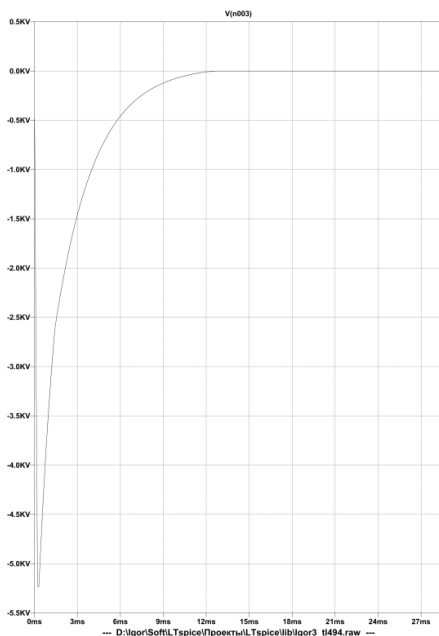


Рисунок 2 – Выходное напряжение преобразователя

Как видно из рисунка 2 выходное напряжение формирователя высоковольтного импульса достигает напряжения 5,2 кВ, что вполне достаточно для пробоя воздушного зазора длиной

1,5 мм. При пробое зазора, воздушный канал становится проводящим за счет движения электронов и положительных ионов. Необходимую величину разрядного тока после пробоя для оплавления проволоки теперь обеспечивает источник напряжения величиной 900–1100 В, который может быть построен на основе аналогичной двухтактной схемы, рассмотренной выше. Результаты моделирования показали их соответствие на изготовленном опытном образце. Преимущество данного решения заключается в возможности регулирования длительности пробойного напряжения, что повышает надежность искрообразования в процессе формирования шарика на конце проволоки.

**Литература**

1. Петухов, И. Б. Технология и оборудование микросварки в производстве изделий электронной техники / И. Б. Петухов, В. Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск: Интегралполиграф, 2021. – 186 с.
2. LTspice [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.analog.com](http://www.analog.com).
3. Володин, В. Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем / В. Я. Володин // СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.